

## 7 Begleitende Forschung sowie Auswertungs- und Interpretationsbeispiele

### 7.1 Abschätzung gesteinsgeochemischer Elementgehalte und Ableitung geogener Hintergrundwerte anhand von Bachsedimentgeochemie-Daten

(SEBASTIAN PFLEIDERER)

Prinzipiell spiegeln die chemischen Inhalte einer Bachsedimentprobe die Elementgehalte der im Einzugsgebiet der Probe vorkommenden Gesteinstypen wider (MEYER et al., 1979; BÖLVIKEN et al., 1996), vorausgesetzt zur Entstehung des Bachsediments diene das gesamte Einzugsgebiet gleichermaßen als Erosionsquelle (OTTESEN et al., 1989). In Abwesenheit von natürlichen Vererzungen und anthropogen bedingten Anreicherungen können geochemische Analysedaten von aktiven Sedimenten natürlicher Bäche daher als Proxy für gesteinsgeochemische Analytik dienen. Dabei ergibt sich die Frage, wie die punktuell vorliegenden Daten auf die Elementgehalte flächig auftretender Gesteinstypen umgesetzt werden können. Der vorliegende Artikel stellt eine in umweltgeochemischen Studien verschiedener österreichischer Bundesländer angewandte Methodik vor, Bachsedimentgeochemie-Daten lithologischen Einheiten zuzuordnen und flächenhaft darzustellen.

Im Gegensatz zu chemischen Inhalten im Grundwasser oder Boden sind gesteinsgeochemische Daten von anthropogen bedingten Einträgen unabhängig. Wird Gesteinschemie jedoch von Bachsedimentproben abgeleitet, werden Kontaminationen im Umfeld von Industrie- und Siedlungsgebieten relevant, die in der Bachsedimentgeochemie die Grundgehalte der Gesteine überprägen können. Zusätzlich treten in Bachsedimentproben aus Bergbaugebieten oder natürlichen Vererzungszonen Elementgehalte auf, die weit über den Grundgehalten der jeweiligen Lithologie liegen können. Daher gilt es, mit statistischen und kartografischen Mitteln, die gesteinsgeochemischen Hintergrundwerte von den Anomalien zu trennen. Die Thematik wird in zahlreichen Publikationen sowohl in der Explorationsgeochemie, als auch in der Umweltgeochemie diskutiert (MATSHULLAT et al., 2000; REIMANN & GARRETT, 2005; FILZMOSER et al., 2005; APPLETON et al., 2008). Der zweite Teil des vorliegenden Artikels befasst sich daher mit der Ableitung geogener Hintergrundwerte für durch Bachsediment-Daten geochemisch beschriebene Gesteinstypen anhand von Beispielen aus den Bundesländern Steiermark und Kärnten.

Geochemische Daten sind sogenannte Kompositionsdaten, d.h. einzelne Elementgehalte werden immer als Teil einer Gesamtmenge in Prozent oder ppm angegeben. Dies bedeutet, dass Elementgehalte nur relative Angaben – im Verhältnis zu anderen Elementgehalten – darstellen und statistisch mit speziellen Rechenmethoden analysiert werden müssen (AITCHISON, 2003). Während diese Methoden in der Geostatistik mittlerweile häufig angewendet werden (BUCCIANI et al., 2006), haben sich Kartendarstellungen von Verhältnissen zwischen Elementgehalten in der Geochemie bisher noch nicht durchgesetzt. Deshalb erfolgen die hier dargestellten Auswertungen für einzelne Elemente. Die für Kompositionsdaten statistisch korrekten Auswertemethoden werden in Kapitel 7.2 angewendet.

#### **Methodik der Zuordnung punktueller Bachsedimentgeochemie-Daten zu flächig verbreiteten Gesteinstypen**

Ein erster Ansatz, die räumliche Verteilung chemischer Elementgehalte darzustellen, ist die Flächenverrechnung durch Interpolation zwischen Probepunkten, zum Beispiel durch die Methode der Inversen Distanzgewichtung (IDW) oder durch Kriging. IDW stellt eine deterministische Methode dar, die keine Annahmen bezüglich der statistischen Verteilung der Daten erfordert. Die Wahl von Gewichtung (Potenz der Entfernung) und Anzahl der Proben (Suchradien) ist allerdings willkürlich und kann das Ergebnis stark beeinflussen. Kriging hingegen ist eine statistische Methode, welche eine Normalverteilung und räumliche Autokorrelation der Daten voraussetzt. Aufwändige Berechnungsverfahren existieren, um Einschränkungen durch nicht normal verteilte Daten oder räumlich inhomogen verteilte Probepunkte auszugleichen (ZHANG et al., 2008). Sämtliche Interpolationsmethoden ignorieren jedoch sowohl die Verbreitung unterschiedlicher Lithologien, als auch die Grenzen morphologischer Einzugsgebiete. Durch Interpolation berechnete geochemische Karten sind daher nur geeignet, regionale Trends in der räumlichen Verteilung von Elementgehalten, respektive von Gesteinstypen, sichtbar zu machen, und dies auch nur bei einer hohen Probenpunktdichte. Eine quantitative Beschreibung der geochemischen Elementgehalte spezifischer Gesteinstypen ist aus diesen Karten nicht zu gewinnen.

Ein zweiter, insbesondere mit geografischen Informationssystemen (GIS) einfach zu realisierender Ansatz stellt der Verschnitt der Probepunkte mit geologischen Karten dar (Punkt-/Polygon-Überlagerung), wobei die Analyseergebnisse an sämtlichen, innerhalb einer lithologischen Einheit gelegenen Punkte zur Charakterisierung dieser Einheit herangezogen werden (SCHEDL et al., 2010b). Diese Art der Umlegung von Punktdaten auf die Fläche ist dann erfolgreich, wenn auf der geologischen Karte lithologisch bzw. geochemisch homogene Einheiten getrennt wurden, und wenn die Größe der Einzugsgebiete im Vergleich zu den geologischen Strukturen klein ist, also zahlreiche, lithologisch homogene Gebiete auftreten. In diesem Falle können die den lithologischen Einheiten entsprechenden Teilmengen der Datenpopulation separat ausgewertet und statistische Kennwerte wie Median, Perzentilen und Extremwerte zur quantitativen Beschreibung der gesteinsgeochemischen Elementgehalte herangezogen werden. Liegen die Einzugsgebiete der Probepunkte einer Teilmenge jedoch gehäuft außerhalb der entsprechenden lithologischen Einheit, liefert dieser Ansatz inkorrekte Ergebnisse. Eine weitere Einschränkung ist durch den Umstand gegeben, dass Probepunkte zumindest auf detaillierteren geologischen Karten, z.B. im Maßstab 1:50.000, großteils in Polygonen quartärer Talfüllungen zu liegen kommen und durch eine Verschneidung im GIS keine Beziehung zwischen Bachsediment und den im Liefergebiet anstehenden (Fest-) Gesteinen hergestellt werden kann.

Ein dritter Ansatz setzt die punktuellen Informationen der Bachsedimentgeochemie-Daten direkt mit den Liefergebieten der Probepunkte in Beziehung. ÓDOR et al. (1997) benutzen diesen Ansatz im Rahmen der geochemischen Kartierung Ungarns, indem sie Liefergebiete auf geochemischen Karen nach den Elementgehalten der Sedimentprobe einfärben. SPADONI et al. (2004) entwickeln am Beispiel eines Entwässerungssystems in Italien eine Methode der hierarchischen Gewichtung, um die chemischen Inhalte weiterer, kleinerer Teileinzugsgebiete oberhalb eines Probepunktes mit zu berücksichtigen. SCHEDL et al. (2008) filtern aus den morphologischen Einzugsgebieten (5.452 Probepunkte) im Bundesland Kärnten diejenigen heraus, deren lithologische Zusammensetzung weitgehend homogen ist, und ordnen die Analysewerte der Bachsedimentproben direkt den Gesteinstypen zu. Analog zu dem zuvor erwähnten Ansatz der Punkt-/Polygon-Überlagerung werden nach dieser Zuordnung die Daten lithologiespezifisch betrachtet und statistische Kennwerte pro Gesteinstyp abgeleitet. Diese liefergebietsorientierte Art der geochemischen Kartierung setzt Bachsedimente in einen geomorphologischen Kontext und verspricht daher die genaueste Darstellung der räumlichen Verteilung von geochemischen Elementgehalten. Die Methode eignet sich vor allem in bergigen oder hügeligen Bereichen und ist auch bei inhomogen verteilten Probepunktnetzen und geringer Probepunktdichte einsetzbar.

In den folgenden Abbildungen werden die verschiedenen Ansätze der Ableitung räumlicher Elementgehaltsverteilungen bzw. gesteinsgeochemischer Inhalte anhand eines fiktiven Beispiels verglichen. In Abbildung 168 (oben links) sind die Probepunkte, deren Einzugsgebiete, die an den Bachsedimentproben gemessenen Konzentrationen eines bestimmten Elements sowie als Unterlage die geologische Karte dargestellt, wobei hier quartäre Überlagerungen, wie Ablagerungen in Talkerben, Hangschutt oder Schwemmkegel, abgedeckt wurden. Bei der Betrachtung der Rohdaten fällt sofort auf, dass die Lithologie von Typ 1 hohe Elementkonzentrationen in den Bachsedimenten hervorruft, also wohl auch selbst das Element angereichert beinhaltet. Tatsächlich betragen die gesteinsgeochemischen Elementgehalte für Lithologie 1 circa 5.000 ppm, für Lithologie 2 circa 200 ppm. Abbildung 168 (oben rechts) zeigt das Ergebnis der Interpolation zwischen Probepunkten nach der Methode der inversen Distanzgewichtung. Die Verbreitung von Lithologietyp 1 spiegelt sich ungefähr in dem Nordwest-Südost verlaufenden, gelb eingefärbten Band (> 2.053 ppm) wider, die hohen Punkt-Konzentrationen (> 4.800 ppm) ergeben allerdings einen sichelförmigen, orange bis rot eingefärbten Bereich, der sich nicht mit der Geologie deckt. Selektiert man sämtliche innerhalb von Lithologietyp 1 liegenden Probepunkte (neun hellblaue Punkte unten links in Abbildung 168), so ergibt diese Teilmenge einen kaum erhöhten Medianwert von 1.387 ppm, insbesondere weil sich die Einzugsgebiete dreier Punkte an der Südwestgrenze von Lithologie 1 und eines Punktes im Norden über den Lithologietyp 2 erstrecken und niedrige Werte aufweisen. Unten rechts in Abbildung 168 sind nur jene vier Probepunkte selektiert, deren Liefergebiete annähernd zur Gänze innerhalb der Lithologie 1 liegen. Der Medianwert von 5.050 ppm spiegelt den geochemischen Elementgehalt des Lithologietyps 1 korrekt wider.

### **Automatische Berechnung morphologischer Einzugsgebiete**

Um die liefergebietsorientierte Interpretation punktueller Bachsedimentgeochemie-Daten zu vereinfachen, wurden an der Geologischen Bundesanstalt (GBA) computergestützte Auswerteverfahren entwickelt, die im GIS die Abgrenzung morphologischer Einzugsgebiete und die Berechnung deren lithologischer Zusammensetzung automatisch durchführen. Die GIS-Routinen sind bei LIPIARSKI et al. (2007) und ATZENHOFER et al. (2009) beschrieben. Dabei wird, ausgehend von einem Probepunkt mit Hilfe eines digitalen Höhenmodells und einem daraus abgeleiteten Fließrichtungsraaster, das Einzugsgebiet hangaufwärts bis zur Kammlinie abgegrenzt. Das resultierende Polygon wird mit einer lithologisch klassifizierten, geologischen Karte verschnitten und der Flächenanteil jeder Gesteinseinheit in Prozent der Gesamtfläche des Einzugsgebietes berechnet. Zusätzlich wird dem Polygon die Punktnummer des Probepunktes zugeordnet, um die chemische Analytik des Bachsediments (Punktinformation) und die Gesteinsanteile im Liefergebiet (Flächeninformation) in Beziehung setzen zu können. Gleichzeitig werden morphologische Parameter des Liefergebietes, wie die durchschnittliche und maximale Distanz und Steilheit des Transportweges bis zum Probepunkt quantifiziert, um Effekte durch Verwitterung und Transport nachvollziehen zu können. Bei ausgeprägter Morphologie des Geländes erzielen die GIS-Routinen verlässliche Ergebnisse, wobei die Erfolgsrate zur Abgrenzung des Liefergebietes und die Genauigkeit der abgeleiteten morphologischen Parameter durch die Qualität des Höhenmodells bestimmt wird (PFLEIDERER et al., 2015).

### **Ableitung gesteinsgeochemischer Elementgehalte am Beispiel von Bachsedimentgeochemie-Daten im Bundesland Kärnten**

In Kärnten stehen 5.452 Bachsedimentproben zur Auswertung zur Verfügung. Bei 4.557 Probepunkten (84 %) führt die automatische Berechnung zu korrekt berechneten Einzugsgebieten, die übrigen Gebiete können wegen ungenauer Punktlage oder zu flacher Morphologie nicht automatisch bestimmt werden (SCHEDL et al., 2008). Nach Verschnitt mit der kompilierten geologischen Karte von Kärnten 1:200.000 (UNTERSWEG et al., 2005) ergeben sich insgesamt 1.891 lithologisch homogene Liefergebiete, die sich auf die geologisch/lithologischen Einheiten unterschiedlich aufteilen. Am häufigsten sind die Gesteinstypen Glimmerschiefer (458 Liefergebiete), Paragneis (528 Liefergebiete) und Phyllit (515 Liefergebiete) repräsentiert.

Beschreibt man die gesteinsgeochemische Signatur dieser Gesteinstypen anhand der jeweiligen Bachsedimentproben, ergibt sich innerhalb der Einheiten keine ausgeprägte Variabilität der Elementgehalte, was die Homogenität der auskartierten geologisch/lithologischen Einheiten auch hinsichtlich ihrer Gesteinsgeochemie bestätigt. Um zu verifizieren, ob und in wie weit die Elementverteilungen im Bachsediment denen des Gesteins entsprechen, wurden die Bachsedimentgeochemie-Daten mit 49 gesteinsgeochemischen Analysen von Glimmerschiefern der Ostalpen (DRAGANITS, 1996; BERKA, 2000; SCHUSTER et al., 2015 sowie unpublizierte Analytik der GBA) verglichen. Beide Probenmedien wurden mittels Röntgenfluoreszenzanaly-

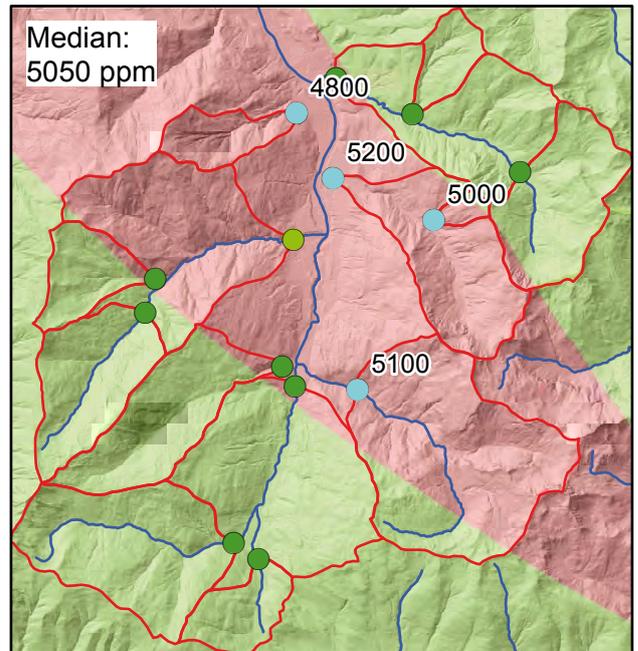
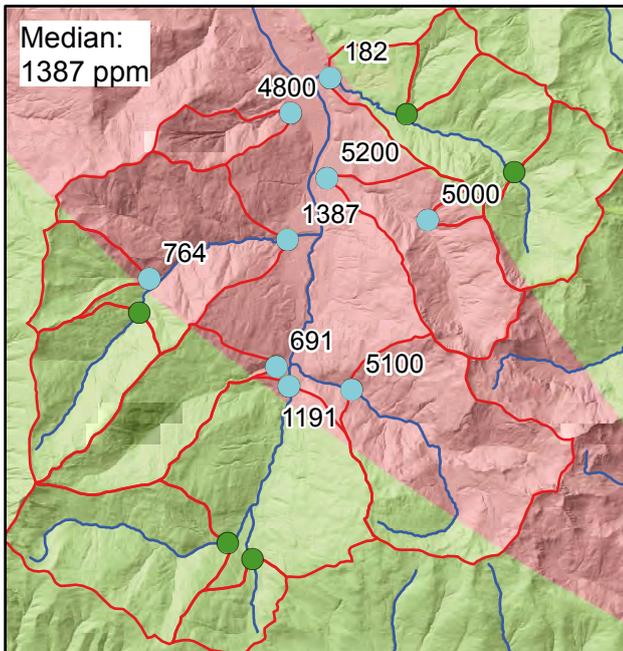
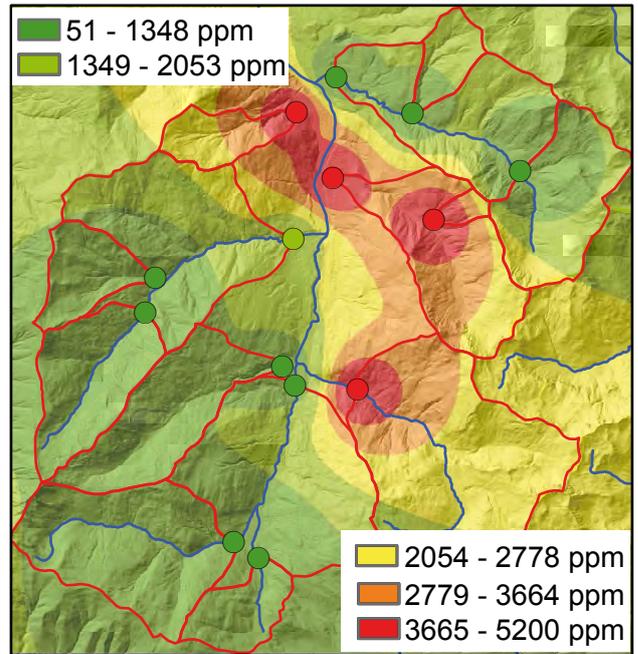
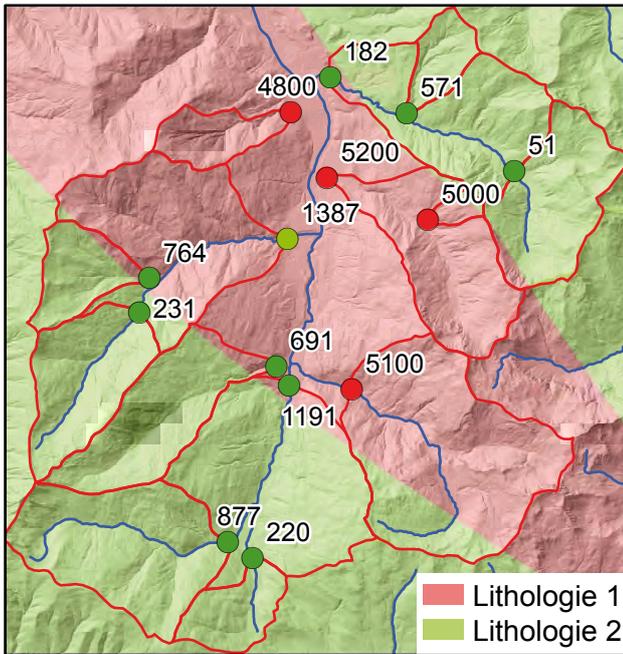


Abb. 168. Fiktives Beispiel einer Bachsediment-Studie – oben links: Probepunkte, deren Liefergebiete, Elementgehalte der Bachsedimentproben in ppm und geologische Karte (quartäre Überlagerungen abgedeckt); oben rechts: Ergebnis der Interpolation nach der Methode der inversen Distanzgewichtung; unten links: Selektion der innerhalb von Lithologietyp 1 liegenden Probepunkte (9 hellblaue Punkte) durch Punkt-/Polygon-Überlagerung. Der Medianwert der Elementgehalte dieser Proben liegt bei 1.387 ppm; unten rechts: Selektion der Probepunkte, deren Liefergebiete innerhalb von Lithologietyp 1 liegen (4 hellblaue Punkte). Der Medianwert der Elementgehalte dieser Proben liegt bei 5.050 ppm.

tik (RFA) bestimmt und sind somit direkt miteinander vergleichbar. Abbildung 169 stellt die Medianwerte der Hauptelementgehalte von Bachsediment- und Gesteinsproben dar. Die jeweiligen Elementgehalte unterscheiden sich um durchschnittlich 0,1 %, die maximale Abweichung beträgt 0,5 % bei dem Element Eisen (Fe). Die Medianwerte der Spurenelementgehalte sind in Abbildung 170 dargestellt, hier betragen die Unterschiede im Durchschnitt 18,5 ppm, der größte Unterschied tritt bei dem Element Barium (Ba; 94 ppm Differenz) auf.

### Statistische Ableitung geogener Hintergrundwerte am Beispiel des Elements Arsen in Bachsediment-geochemie-Daten im Bundesland Steiermark

Eine subjektive Möglichkeit, Hintergrundwerte von vererzungsbedingten Anomalien zu trennen, besteht darin, Gebiete fernab von bekannten Bergbauen oder Mineralvorkommen zu untersuchen und manuell einen Schwellenwert zu definieren (ROSE et al., 1979). Gleichmaßen kann der Einfluss anthropogener Einträge dadurch umgangen wer-

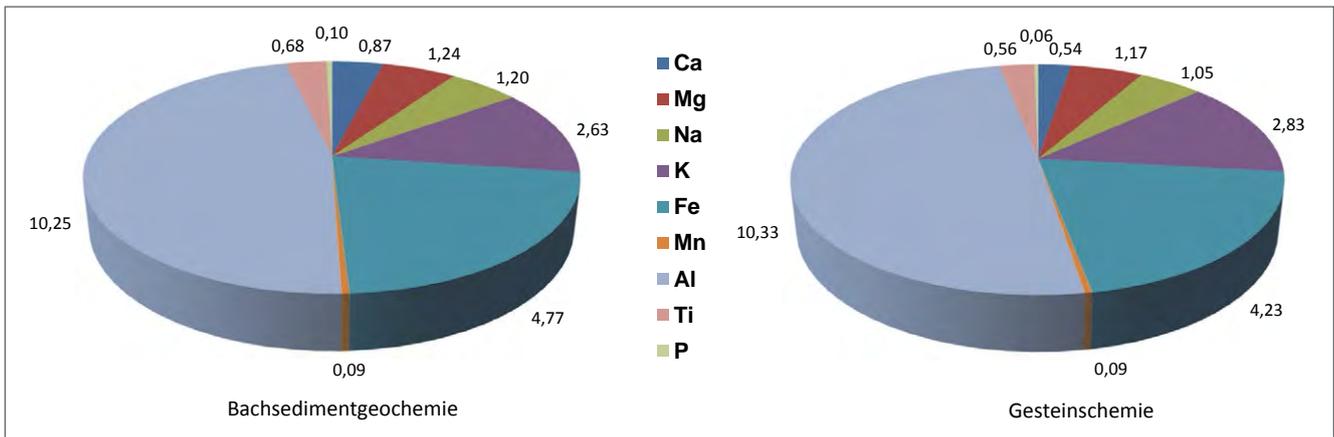


Abb. 169. Hauptelementgehalte von Bachsedimentproben mit Liefergebieten aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 458 Proben) und von Gesteinsproben aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 49 Proben); Angaben in %.

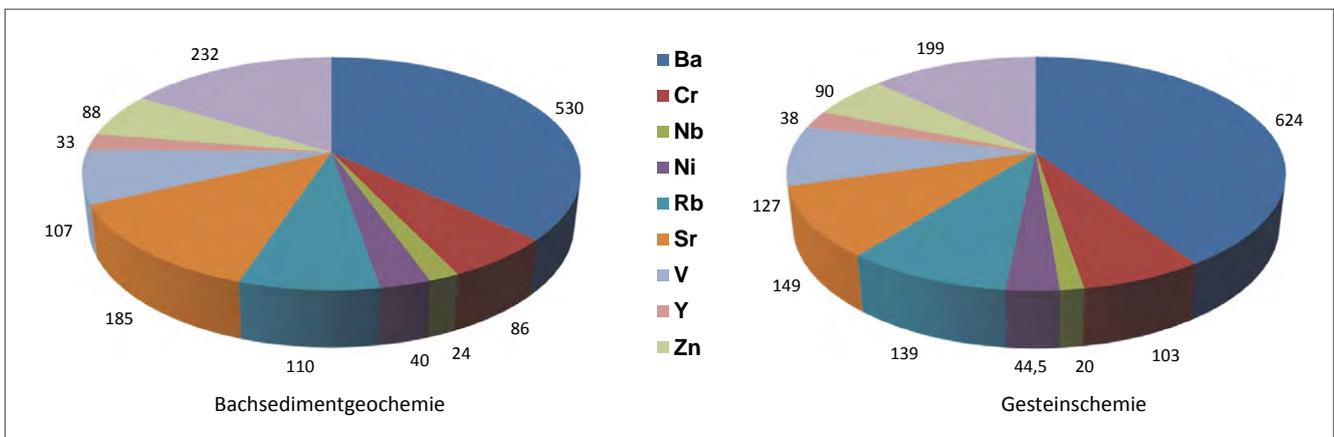


Abb. 170. Spurenelementgehalte von Bachsedimentproben mit Liefergebieten aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 458 Proben) und von Gesteinsproben aus Glimmerschiefern (Medianwerte von 49 Proben); Angaben in ppm.

den, dass Probepunkte außerhalb von Industrie- und Siedlungsgebieten analysiert werden. Zusätzlich existieren statistische Methoden, um Hintergrund- und Schwellenwerte zu bestimmen. REIMANN et al. (2005) empfehlen, anstelle eines Wertes einen Bereich für Hintergrundwerte anzugeben, um lokalen und regionalen Schwankungen Rechnung zu tragen. Zum anderen schlagen die Autoren vor, im Falle nicht homogen verteilter Daten den Schwellenwert über robuste statistische Verfahren, nämlich als Medianwert  $\pm$  der zweifachen mittleren Abweichung zu berechnen.

Ein Beispiel einer liefergebietspezifischen Auswertung von Bachsedimentgeochemie-Daten zur Ableitung von geogenen Hintergrundwerten zeigen die Abbildungen 171 und 172. Unter Zugrundelegung der nach 25 geochemisch ähnlichen Gesteinseinheiten gruppierten geologischen Karte 1:200.000 der Steiermark (SCHWENDT, 1998) wurde die lithologische Zusammensetzung der Liefergebiete von 9.074 Probepunkten berechnet (SCHEDL et al., 2010b). Darunter befinden sich 1.857 lithologisch homogen aufgebaute Gebiete, die in Abbildung 171 nach dem Arsengehalt der jeweiligen Bachsedimentprobe eingefärbt dargestellt sind.

Visuell fallen die Anomalien südwestlich von Mürzschlag-Kindberg-Bruck an der Mur und von Weißkirchen in der Steiermark auf, die mit natürlichen Arsen-Vererzungen

zusammenhängen (GÖD & HEISS, 1996). Der geogene Hintergrundwert scheint im Bereich 4 bis 10 ppm zu liegen, zur Abtrennung zwischen Hintergrund und Anomalie kann visuell ein Schwellenwert von 20 ppm festgelegt werden. Rechnerisch ergibt sich jedoch ein klassischer Schwellenwert (Mittelwert plus zweifache Standardabweichung) von 68,7 ppm und ein robuster Schwellenwert (Medianwert plus zweifache mittlere Abweichung) von 12 ppm (Tab. 13). Es ist anzumerken, dass die Daten weder normal noch log-normal verteilt sind. Ausreißer, definiert als Werte größer als das 75 %-Perzentil + 1,5 x (75 %-Perzentil - 25 %-Perzentil) liegen oberhalb 19,2 ppm und betreffen 12 % der Daten. Extremwerte, definiert als Werte größer als das 75 %-Perzentil + 3 x (75 %-Perzentil - 25 %-Perzentil), liegen oberhalb 28,2 ppm und betreffen 7 % der Daten.

Insgesamt werden 19 der 25 Gesteinseinheiten durch die homogenen Liefergebiete abgedeckt und können durch die chemische Analytik der Bachsedimentproben direkt beschrieben werden. Die Gleisdorf-Schichten („Tertiär“) und die Jura-/Unterkreide-Formationen der Kalkalpen sind allerdings durch eine zu geringe Anzahl von Liefergebieten repräsentiert, um statistisch belastbare Aussagen zu treffen. Die Verteilung der Arsengehalte innerhalb der Gesteinseinheiten ist in Abbildung 172 als Tukey-Boxplot dar-

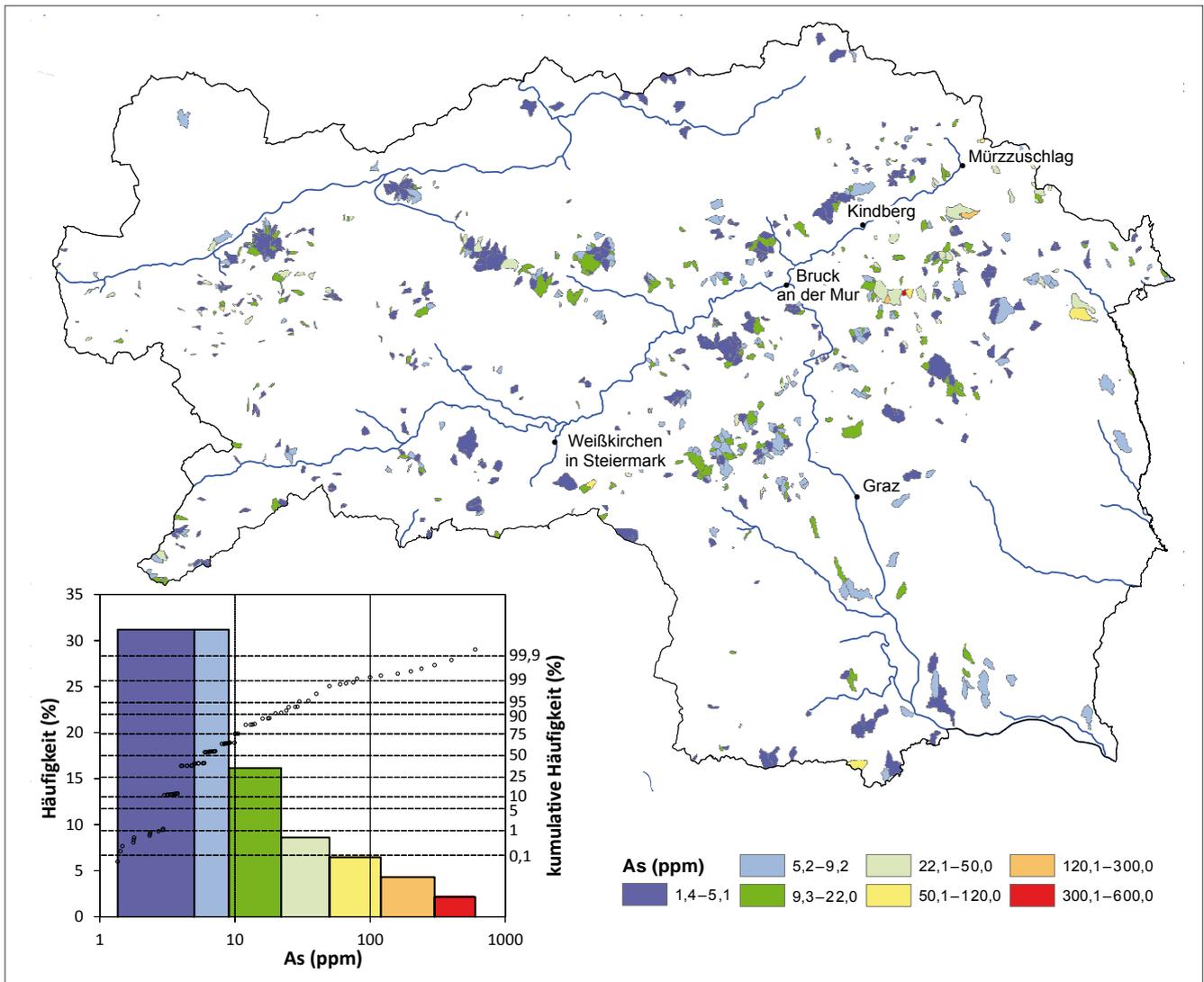


Abb. 171. Lithologisch homogene Liefergebiete von Bachsedimentproben der Steiermark, eingefärbt nach As-Gehalten.

Minimalwert	Medianwert (MEDIAN)	Mittelwert (MEAN)	Maximalwert	Standard- abweichung (SD)	MEAN + 2 SD	Mittlere absolute Abweichung (MAD)	MEDIAN + 2 MAD
1,3	6,0	11,7	600	28,5	68,7	3,0	12

Tab. 13. Statistische Kennwerte der Arsengehalte (ppm) von Bachsedimentproben aus homogenen Liefergebieten der Steiermark.

gestellt (TUKEY, 1977). Der anhand von Abbildung 171 manuell definierte Schwellenwert lässt sich in Abbildung 172 generell nachvollziehen, wobei zwischen den Gesteinseinheiten Unterschiede erkennbar werden. Die Wertebereiche für geogene Hintergrundwerte (25 %-Perzentil – 75 %-Perzentil) und robuste Schwellenwerte sind in Tabelle 14 aufgelistet.

### Diskussion

Der Vergleich unterschiedlicher Methoden der geochemischen Kartierung (Abb. 168) zeigt, dass die liefergebietsspezifische Auswertung gegenüber der Interpolation

zwischen Probepunkten oder der Punkt-/Polygon-Überlagerung die aufwändigste, aber genaueste Methode ist, die geochemische Information von Bachsedimentproben lithologiespezifisch auf die Fläche umzusetzen. Die Methode ist unabhängig von der Probendichte, wobei die Anzahl homogener Liefergebiete den Grad der Flächenabdeckung und die Vollständigkeit der Liste beschriebener Gesteinstypen bestimmt (Abb. 171, 172). Durch Automatisierung der Liefergebietsberechnung und -charakterisierung mithilfe eines Höhenmodells und digitaler geologischer Karte ist der Aufwand dieser Methode hinsichtlich der erzielten Ergebnisse zu rechtfertigen.

	Hintergrundwert (25 %-Perzentil–75 %-Perzentil)	robuster Schwellenwert (MEDIAN + 2 MAD)
Quartär i.A.	5,8–9,7	14,2
„Tertiär“ / Stegersbach Schichten	4,6–10	12,0
„Tertiär“ / Badenium	4–6,6	11,9
„Tertiär“ / Karpatium	2,9–4	11,1
jüngeres „Tertiär“ inneralpin	4–10	12,4
Kalkalpen / Gosau	6–12	21,9
Kalkalpen / Kalke und Dolomite der Mittel- bis Obertrias	2,7–4,1	11,5
Kalkalpen / „Permoskyth“	4–8,7	10,9
Altpaläozoikum i.A. außer basische Serien und Phyllite	4–12	13,9
Altpaläozoische vulkanogene Folgen und Phyllite	5–10,1	14,4
Grauwackenzone / Karbon	4–11	21,9
Grauwackenzone / Schiefer	4–10	11,9
Grauwackenzone / Porphyroid	4–7,5	10,9
Zentralalpine Sedimente	4–10	13,9
Kristallin / basische und ultrabasische Serien	4–8	11,9
Kristallin / Granite und Orthogneise	4–13	14,9
Kristallin / Paragneise	4–12	11,9

Tab. 14.  
Geogene Hintergrundwerte und Schwellenwerte von Arsen (ppm) für lithologische Einheiten der Steiermark.

Abweichungen zwischen den Elementgehalten des Gesteins im (homogenen) Liefergebiet einer Bachsedimentprobe und des Bachsediments selbst können durch verschiedene Prozesse verursacht werden. Chemische Verwitterung und Lösungsvorgänge können Elemente ab- oder anreichern, selektiver Transport von Verwitterungsprodukten je nach Korngröße kann das Spektrum ebenfalls verschieben. Diese Effekte sind je nach Mineralbestand des Gesteins und nach Länge und Steilheit des Transportweges unterschiedlich ausgeprägt. In Anbetracht dieser Störfaktoren erscheint die in den Abbildungen 169 und 170 dargestellte Übereinstimmung zwischen den Gehalten an Haupt- und Spurenelementen überraschend gut. Lithologisch homogen zusammengesetzte Liefergebiete finden sich meist in den oberen, kleinen Teileinzugsgebieten eines Entwässerungssystems und sind durch kurze Transportwege charakterisiert. Dies trägt dazu bei, dass selektive Transportmechanismen keine zu große Rolle spielen. Selektive Lösung einzelner Elemente aus verwitterten Mi-

neralkörnern scheint bei Glimmerschiefern ebenfalls unbedeutend zu sein. Die Ableitung des Chemismus anderer Gesteinstypen aus Bachsedimentgeochemie-Daten sowie die Verifizierung anhand gesteinsgeochemischer Analytik sind derzeit in Bearbeitung. Weitere Studien sind geplant, um die Effekte der Elementverschiebung durch Verwitterung und Transport zu quantifizieren.

Die Möglichkeit der rein statistischen Berechnung von Hintergrundwerten wird von zahlreichen Autoren in Frage gestellt (MATSCHULLAT et al., 2000; REIMANN & GARRETT, 2005). Die hier vorgestellte Methode der liefergebietsspezifischen Auswertung von Bachsedimentgeochemie-Daten erlaubt die direkte Beschreibung der Verteilung von Elementgehalten separat für jeden Gesteinstyp (Abb. 172). Bei der Angabe eines Hintergrund-Wertebereiches pro Gesteinstyp geht allerdings die Information über regionale Verteilungen der Elementgehalte verloren. Regionale Trends innerhalb einer lithologischen Einheit können nur über Kartendarstellungen erfasst und beschrieben werden.

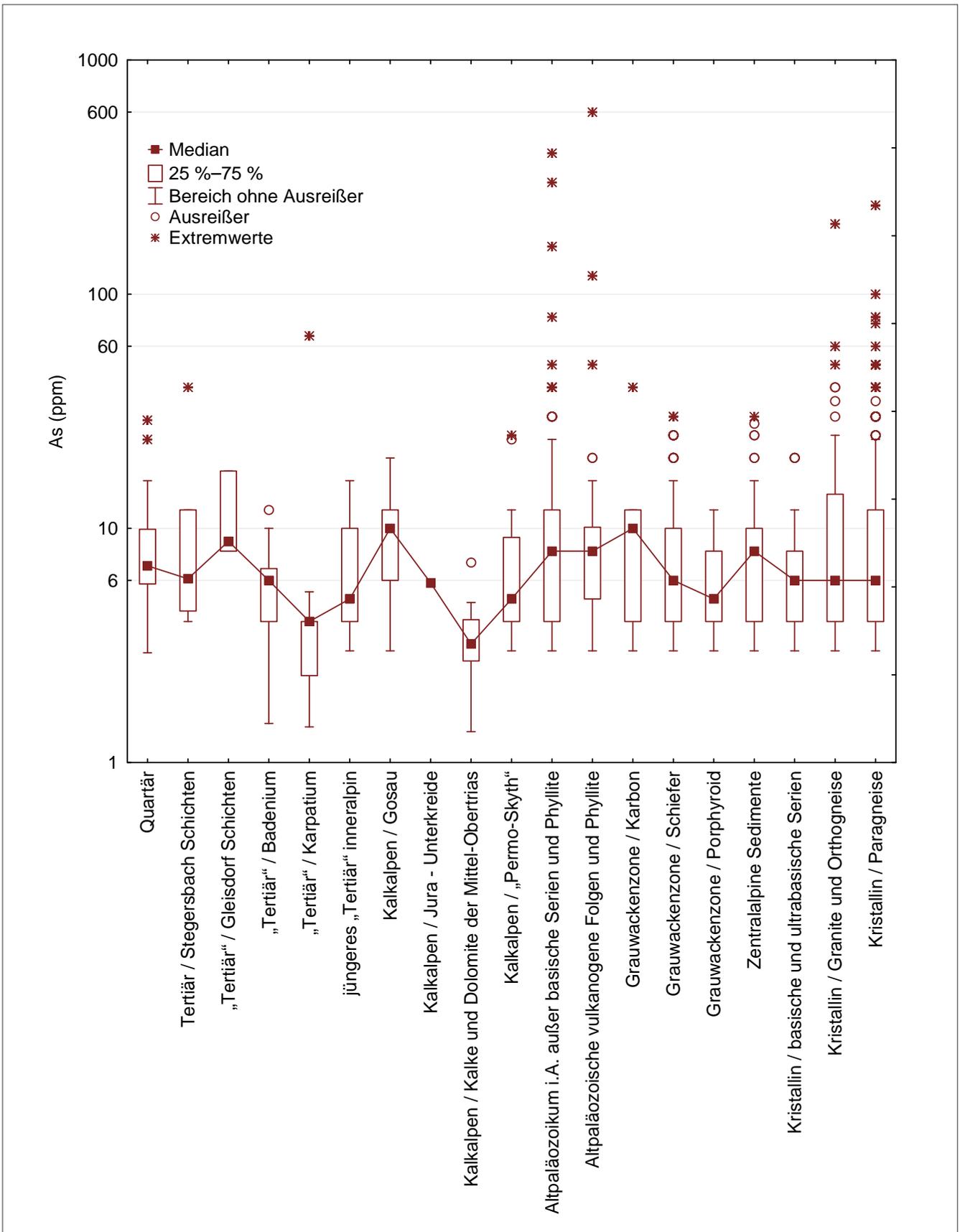


Abb. 172. Arsengehalte innerhalb lithologischer Einheiten der geologischen Karte der Steiermark 1:200.000 (SCHWENDT, 1998).